

Evaluierung eines VR Systems zum Erlernen von Roboter- Singularitäten

Bachelorarbeit

Gloria Pöhler



BACHELORARBEIT

EVALUIERUNG EINES VR SYSTEMS

ZUM ERLERNEN VON

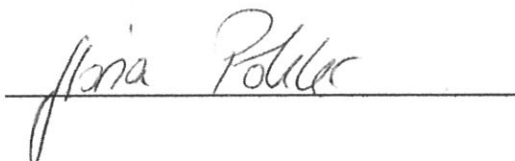
ROBOTER-SINGULARITÄTEN

Freigabe:

Der Bearbeiter:

Unterschriften

Gloria Pöhler



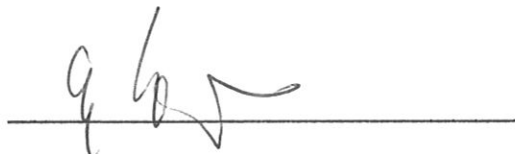
Betreuer:

Thomas Hulin



Der Institutsdirektor

Prof. Dr. G. Hirzinger



Dieser Bericht enthält 48 Seiten, 9 Abbildungen und 3 Tabellen



OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG



FAKULTÄT FÜR
MASCHINENBAU

Otto-von-Guericke Universität Magdeburg

Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb

Lehrstuhl für Arbeitswissenschaft und Arbeitsgestaltung

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Hochschulgrades

Bachelor of Science (B. Sc.)

Studiengang Psychologie

“Evaluierung eines Virtual Reality - Systems zum Erlernen von Roboter - Singularitäten”

Gloria Pöhler

Matrikelnummer 182037

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml

Zweitprüfer: Dipl.-Psych. Hendrik Neumann

Datum der Abgabe: 07.09.2010

Bearbeitungszeit: 18 Wochen

Prüfungsamt: Fakultät für Naturwissenschaften

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde das Programming by Demonstration - Paradigma auf die Vermeidung von Roboter-Singularitäten angewandt. Dafür wurden zwei Experimente durchgeführt. Im ersten Experiment wurden einer Versuchsgruppe visuelle Hilfen zur Verfügung gestellt, mit deren Hilfe ihnen die Vermeidung der oben erwähnten Roboter-Singularitäten vereinfacht werden sollte. Da durch die visuellen Hilfen allerdings eine aktive Exploration der Aufgabe verhindert wurde, sollte diese im zweiten Experiment stattfinden. Die Ergebnisse zeigten jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den Probanden, die visuelle Hilfen bekamen und denen, die keine bekamen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	5
1.1	Programming by Demonstration	5
1.2	Roboter-Singularitäten und virtuelle Realität	6
1.3	Multimodales Feedback.....	6
1.4	Probleme bei der Verwendung von visuellen Hilfen	8
1.5	Mentale Rotation und Sensomotorische Koordination	8
1.6	Hypothesen	10
2.	Experiment I	11
2.1	Methoden.....	11
2.1.1	Versuchspersonen	11
2.1.2	Geräte und Materialien.....	14
2.1.3	Versuchsplan	16
2.1.4	Versuchsdurchführung.....	17
2.2	Ergebnisse.....	19
2.2.1	Bearbeitungszeit.....	19
2.2.2	Gesambewegungen.....	20
2.2.3	Integral über den zurückgelegten Weg und den Singularitätsindex.....	21
2.2.4	maximaler Singularitätsindex.....	22
2.3	Diskussion	22
2.3.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	22
2.3.2	Theoretische Folgerungen	24
3.	Experiment II	25
3.1	Methoden.....	25
3.1.1	Versuchspersonen.....	25
3.1.2	Geräte und Materialien.....	25
3.1.3	Versuchsplan	27
3.1.4	Versuchsdurchführung.....	28
3.2	Ergebnisse.....	28
3.2.1	Bearbeitungszeit.....	29
3.2.2	Gesambewegungen.....	29
3.2.3	Integral über den zurückgelegten Weg und den Singularitätsindex.....	30
3.2.4	maximaler Singularitätsindex.....	30

3.3	Diskussion	31
3.3.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	31
3.3.2	Theoretische Folgerungen	31
4.	Gesamtdiskussion	33
4.1	Betrachtung der Hypothesen	33
4.2	Kritische Aspekte des Versuchsaufbaus	33
4.3	Fazit und Ausblick	35
	Abbildungsverzeichnis	36
	Tabellenverzeichnis	37
	Literaturverzeichnis	38
	Anhang A - Einverständniserklärung Probanden	40
	Anhang B - Einverständniserklärung Testleiter	41
	Anhang C - Fragebogen	42
	Eidesstattliche Erklärung	44

1. Einleitung

Das Erlernen komplexer Abläufe in diversen Zweigen der Industrie ist mit einem immensen Zeit- und Kostenaufwand verbunden, da es eine umfassende Schulung und Supervision der Mitarbeiter mit sich zieht. Um die Akquisition solcher Abläufe und Fähigkeiten zu beschleunigen und den Aufwand geringer zu halten, ist das EU-Projekt „SKILLS“ ins Leben gerufen worden, welches sich zum Ziel gesetzt hat, mittels eines speziellen Lernparadigmas, namentlich Programming by Demonstration, oben beschriebene Problemstellung zu vereinfachen (SKILLS Konsortium, 2006). In der vorliegenden Arbeit wird die Umsetzung dieses Paradigmas im Bereich der Robotik erläutert werden.

1.1 Programming by Demonstration

Das Programming by Demonstration - Paradigma, auch bezeichnet als „Lernen durch Imitation“, eröffnet einen neuen Weg, Maschinen bzw. Computer zu programmieren, ohne dass im Voraus eine komplizierte Programmiersprache erlernt werden muss (Cypher, 1993). Der Nutzer lehrt dem Computer also ein gewisses Verhalten, indem er es ihm selbst zeigt. Der Computer speichert die gezeigte Bewegung und ist somit im Folgenden in der Lage, diese Geste selbstständig auszuführen. Im besten Falle kann die Maschine dann das gelernte Verhalten in eine neue Umwelt adaptieren.

Als besonders sinnvolles Anwendungsgebiet erweist sich hiermit der Bereich der Robotik. Billard et al. (2008) führen dafür einige Gründe auf, von denen die zwei wichtigsten genannt werden sollen: zunächst einmal weist das Programming by Demonstration - Paradigma eine hohe Flexibilität auf. Wenn der Roboter das gezeigte Verhalten auf Grund gewisser Einschränkungen falsch ausführt oder gar nicht ausführen kann, erleichtert das für den Anwender die Fehlersuche, da er direkt beobachten kann, an welcher Stelle der Handlung Probleme bei dem Roboter auftauchen. Das daraufhin abgeänderte Verhalten wird der Maschine dann einfach noch einmal demonstriert.

Weiterhin ist das Lernen durch Imitation eine sehr nutzerfreundliche Interaktion von Mensch und Maschine, die keine detaillierten Kenntnisse mit sich zieht und somit auch von Laien auf dem Gebiet der Robotik angewandt werden

kann. Dennoch sind gewisse Fähigkeiten notwendig, über die ein Nutzer des Programming by Demonstration - Paradigmas verfügen sollte um diese neue Art, Roboter zu programmieren, konsolidieren zu können. Um herauszufinden welche das sind und wie das Training solcher Fähigkeiten beschleunigt werden kann, darüber soll das nachfolgende Experiment im Rahmen des SKILLS - Projektes Aufschluss geben.

1.2 Roboter-Singularitäten und virtuelle Realität

Das oben beschriebene Programming by Demonstration - Paradigma soll nun auf das Erlernen der Vermeidung von Roboter-Singularitäten in einer Virtuellen Welt angewandt werden.

Eine Singularität ist eine bestimmte Stellung eines oder mehrerer Gelenkwinkel des Roboters, in der er nicht mehr in alle Richtungen verfahren werden kann; der Roboter verliert an dem jeweiligen Gelenk also einen Freiheitsgrad (Weber, 2002). Da singuläre Gelenkstellungen ein Problem sind, die bei der Arbeit mit einem Roboter über mehrere Aufgabenstellungen hinweg immer wieder auftauchen und somit immer zu vermeiden sind, bildet das Erlernen eben dieser Vermeidung eine Kernfähigkeit im Umgang mit dem Roboter und wurde deswegen für die Anwendung auf das Programming by Demonstration - Paradigma ausgewählt (Schmirgel et al., 2009).

Für die Beschreibung einer virtuellen Welt soll die Definition von Hennig (1997) zu Rate gezogen werden, der eine virtuelle Realität als Mensch-Maschine-Schnittstelle sieht, „die es erlaubt, eine computergenerierte Umwelt in Ansprache mehrerer Sinne als Realität wahrzunehmen“. Da auch das SKILLS - Projekt eine Nutzung von multimodalem Feedback vorsieht, auf welches im folgenden Absatz näher eingegangen werden soll, ist die Kombination mit einem Virtual Reality - Szenario eine logische Folge.

1.3 Multimodales Feedback

Um das Erlernen zu beschleunigen und um der Zielstellung von SKILLS gerecht zu werden, die ja, wie in Absatz 1.2 bereits angesprochen, neben der Mensch-Maschine-Interaktion die Nutzung von multimodalem Feedback vorsieht,

sollen einerseits visuelle Hilfen verwendet werden und auf der anderen Seite haptisches Feedback vom Roboter selbst zur Anwendung kommen. Beide Feedbackformen erfolgen in der virtuellen Realität. Die Nutzung der visuellen Modalität als Informationsmedium eignet sich im Hinblick auf das Erlernen von Roboter-Singularitäten ganz besonders, da der verwendete Roboter über mehrere Gelenke verfügt und durch direktes visuelles Anzeigen die Lokalisation der singulären Gelenke vereinfacht wird. Das haptische Feedback erfolgt durch das direkte Spüren der Kräfte der virtuellen Welt am haptischen Roboter.

Dass das Ansprechen mehrerer Modalitäten im Trainingsprozess erfolgsversprechend sein kann, wurde schon in mehreren Theorien belegt, die sich auf Baddeley's & Hitch's Modell des Arbeitsgedächtnisses (1974) stützen. Laut diesem Modell besteht das Arbeitsgedächtnis aus mehreren Teilkomponenten, die voneinander getrennte Modalitäten repräsentieren bzw. diese integrieren. Durch diese Trennung wird eine parallele Verarbeitung von Informationen begünstigt, wenn die Informationen unterschiedliche Modalitäten ansprechen, da verschiedene Modalitäten laut Baddeley nicht oder nur geringfügig miteinander interferieren. Eine von vielen Theorien, die diese Befunde unterstützt, ist die von Chandler & Sweller (1991) aufgestellte „Theorie der kognitiven Belastung“, die postuliert, dass Lernen mit kognitiver Belastung einhergeht und dafür nur begrenzt Kapazitäten zur Verfügung stehen. Die Nutzung mehrerer Sinnesmodalitäten während eines Trainingsprozesses reduziert die kognitive Auslastung des Arbeitsgedächtnisses und führt somit zu einer erfolgreicherer Ausführung der Aufgabe.

Diese Befunde macht sich das Projekt „SKILLS“ zu Nutze, indem eine Hälfte der Probanden während des Trainingsdurchganges visuelle Hilfe präsentiert bekommen und die andere Hälfte nicht. Diese visuellen Hilfen haben die Form von Pfeilen, die einerseits anzeigen, an welchem Gelenk des Roboters sich die Singularitäten befinden und andererseits in welche Richtung das Gelenk vom Probanden bewegt werden muss, um den Roboter aus der Singularität zu befreien. Dass sich Pfeile als Richtungsanzeige bewähren, haben schon Gan & Drummond (2006) zeigen können. In deren Untersuchung wurde eine neuartige Navigationsmethode vorgestellt, in welcher in eine Landkarte mittels Augmented Reality Navigationspfeile eingeblendet wurden, die dem Anwender anzeigen, auf

welche Position der Karte er zu schauen hat um so das Kartenlesen zu vereinfachen.

1.4 Probleme bei der Verwendung von visuellen Hilfen

Visuelle Hilfen können allerdings auch negative Effekte auf die Akquisition der zu erlernenden Fähigkeiten mit sich bringen, da sie die aktive Exploration der Aufgabe verhindern und somit eine Abhängigkeit von diesen visuellen Hilfen erzeugen (Yuviler-Gavish et al., 2009). Wie in den oben genannten Theorien beschrieben, erbringen die Probanden während der Führung durch die visuellen Hilfen weniger kognitive Eigenleistung, da ihnen diese Leistung durch die visuellen Hilfen abgenommen wird. So wird ihnen durch die Pfeile beispielsweise direkt angezeigt, welcher Schritt als nächstes zu befolgen ist; diese kognitive Leistung bleibt den Probanden also erspart und sie führen die Aufgabe nur „passiv“ aus. Da aber dadurch eine tiefergehende Auseinandersetzung mit der Aufgabe, in diesem Experiment mit dem Verstehen von Roboter-Singularitäten um diese vermeiden zu können, verhindert wird, könnte es unter Umständen passieren, dass die Probanden in einer anderen, der vorherigen ähnlichen, Aufgabe, eine schlechtere Leistung zeigen, wenn die visuellen Hilfen nicht mehr präsent sind.

Daher soll im Anschluss an das erste Experiment, welches als eine Art Orientierung fungiert und daher mit den visuellen Hilfen durchgeführt werden soll, ein weiteres durchgeführt werden, welches sich einer aktiven Exploration der Roboter-Singularitäten bedient. Dabei sollen die vier verschiedenen Singularitäten, die der Roboter aufweist, intensiv von den Probanden exploriert werden. Dadurch soll der negative Effekt, die die Führung durch visuelle Hilfen mit sich bringt, aufgehoben werden und ein tatsächlicher Lerneffekt zu Stande kommen.

1.5 Mentale Rotation und Sensomotorische Koordination

In den nachfolgenden Experimenten wird angenommen, dass zwei Fähigkeiten einen systematischen Einfluss auf das Testergebnis ausüben. Dies ist einerseits mentale Rotation und andererseits sensomotorische Koordination. Daher sollen im Voraus zwei Tests durchgeführt werden, dessen Ergebnis über die Zuordnung der Versuchspersonen zur jeweiligen Experimentalgruppe

entscheidet. Dabei wird angestrebt, jede Gruppe hinsichtlich dieser beiden Fähigkeiten gleich zu verteilen, sodass der Einfluss der beiden Fähigkeiten eliminiert oder zumindest reduziert wird.

Die Fähigkeit zur mentalen Rotation soll mittels des MRT-R (Peters et al., 1995) bestimmt werden, in welchem die Versuchspersonen dreidimensionale Würfelfiguren gedanklich drehen sollen, um zu sehen, welche beiden mit der Referenzfigur übereinstimmen (siehe Abb. 1). Da die Experimente jeweils in einem dreidimensionalen virtuellen Szenario dargestellt werden, wird davon ausgegangen, dass sich eine unzureichende Fähigkeit zur mentalen Rotation negativ auf die Performanz in der Untersuchung auswirkt.

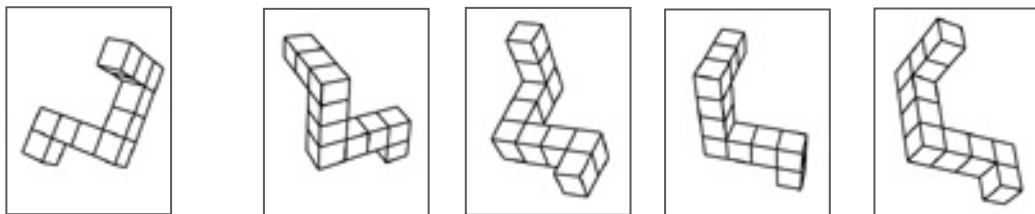


Abbildung 1. Beispielitem aus dem MRT-R (Universität Kaiserslautern, 2005).

Mit dem sensomotorischen Koordinationstest (Bauer et al., 2008), der Teil des Wiener Testsystems ist, soll die Auge-Hand-Koordination der Probanden erfasst werden. Dies erfolgt mittels der Steuerung eines Kreissegments mit Eigenbewegung in einem dreidimensionalen Raum (siehe Abb. 2). Dabei wird die Screening-Version verwendet, die über eine Gesamtdauer von rund 20 Minuten verfügt. Wie in einem von Schmirgel et al. (2007) verfassten Bericht bereits beschrieben, sind sensomotorische Fähigkeiten insofern relevant für das Programming by Demonstration - Paradigma, da bei Ausführung der Aufgabe eine gleichzeitige Koordination der Roboter- bzw. Handstellung mit den virtuell dargestellten Objekten erforderlich ist.

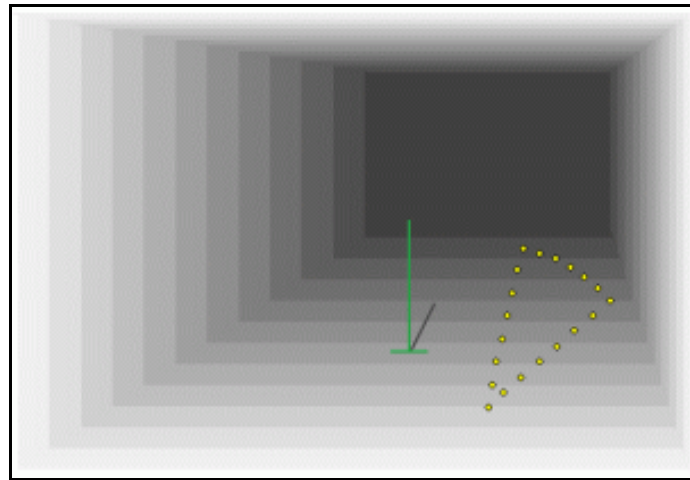


Abbildung 2: Bildschirmdarstellung des Sensorischen Koordinationstests aus dem Wiener Testsystem (Bauer et al., 2008).

1.6 Hypothesen

Ausgehend von den oben getroffenen Betrachtungen sollen nun die folgenden Hypothesen aufgestellt werden:

Zunächst einmal wird angenommen, dass in dem Durchgang, in dem die visuellen Hilfen präsent sind, die Gruppe, denen die visuellen Hilfen zur Verfügung gestellt werden, eine bessere Performanz zeigt als die Probanden, denen diese Hilfen nicht zur Verfügung standen. In dem darauffolgenden Durchgang, in dem keiner der Probanden visuelle Hilfen bekommt, zeigen beide Gruppen eine gleichermaßen ungenügende Leistung, da bei der Gruppe, die im ersten Durchgang visuelle Hilfen hatte, der negative Effekt von visueller Führung zum Tragen kommt, da sie sich nicht aktiv mit der Vermeidung der Singularitäten befasst hat und dementsprechend kein Lernerfolg zu verbuchen ist.

Im dritten Durchgang wird allen Probanden, die die visuellen Hilfen im ersten Durchgang hatten, eine aktive Exploration der Singularitäten ermöglicht; einer Gruppe jedoch wieder mit visuellen Hilfen und die andere ohne. Hierbei wird die Gruppe, die die visuellen Hilfen im dritten Durchgang hatte, schlechter abschneiden, da sie sich wieder auf diese verlassen und somit eine aktive Exploration erneut verhindert wird. Die beste Performanz werden also die Probanden zeigen, die im ersten Durchgang visuelle Hilfen hatten und im dritten Durchgang nicht.

2. Experiment I

Um die oben beschriebenen Roboter-Singularitäten vermeiden zu können, sollen einigen Probanden im nachfolgenden Experiment visuelle Hilfen zur Verfügung gestellt werden, bestehend aus rotierenden Pfeilen und einem „Performance Indicator“. Diese visuellen Hilfen sollen es ihnen ermöglichen zu verstehen, was Robotersingularitäten sind um diese infolgedessen besser vermeiden zu können.

2.1 Methoden

2.1.1 Versuchspersonen

Am ersten Experiment nahmen insgesamt 46 Personen teil. Davon wurden 15 Personen der Gruppe A_1 , 16 Personen der Gruppe A_2 und die verbliebenen 15 Personen der Gruppe B zugeordnet. Gruppe A musste zur Durchführung des zweiten Experimentes in zwei annähernd gleich große Gruppen aufgeteilt werden. Für das erste Experiment soll dieser Umstand genutzt werden und sowohl Gruppe A_1 als auch Gruppe A_2 mit Gruppe B verglichen werden.

Die Probanden waren zwischen 21 und 58 Jahren alt mit einem Mittelwert von $M = 35.04$ Jahren und einer Standardabweichung von $SD = 10.1$ Jahren. Von den 46 Personen waren 73.9 % männlich und 26.1 % weiblich. In jeder Gruppe befanden sich vier Frauen, sodass man daraus schließen kann, dass die Gruppen hinsichtlich des Geschlechts gleichverteilt waren und dieser Faktor somit keinen Einfluss auf die Bearbeitung der Aufgabe hatte.

Alle Versuchspersonen waren Mitarbeiter des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) am Standort Oberpfaffenhofen, was wiederum eine homogene Stichprobe garantierte. Die Akquirierung erfolgte über die jeweiligen Instituts-E-Mail-Verteiler, wobei darauf hingewiesen wurde, dass keine Erfahrung im Umgang mit Robotern und Roboter-Singularitäten vorhanden sein soll, da sich dies sonst negativ auf den Zweck der Untersuchung auswirkt. Da am DLR größtenteils Ingenieure arbeiten, verfolgten 54.3 % der Stichprobe einen Beruf im technischen Sektor bzw. im Ingenieurwesen. Fast ein Viertel der Stichprobe

(21.7 %) bestand aus Studenten, von denen wiederum 80 % einen technischen Studiengang belegten (siehe Abbildung 3).

Weiterhin waren 17.4 % aller Versuchspersonen in einem kaufmännischen Bereich bzw. in der Verwaltung tätig und 6.5 % der Personen arbeitete im Marketing/Verkauf oder in der Bildung am DLR.

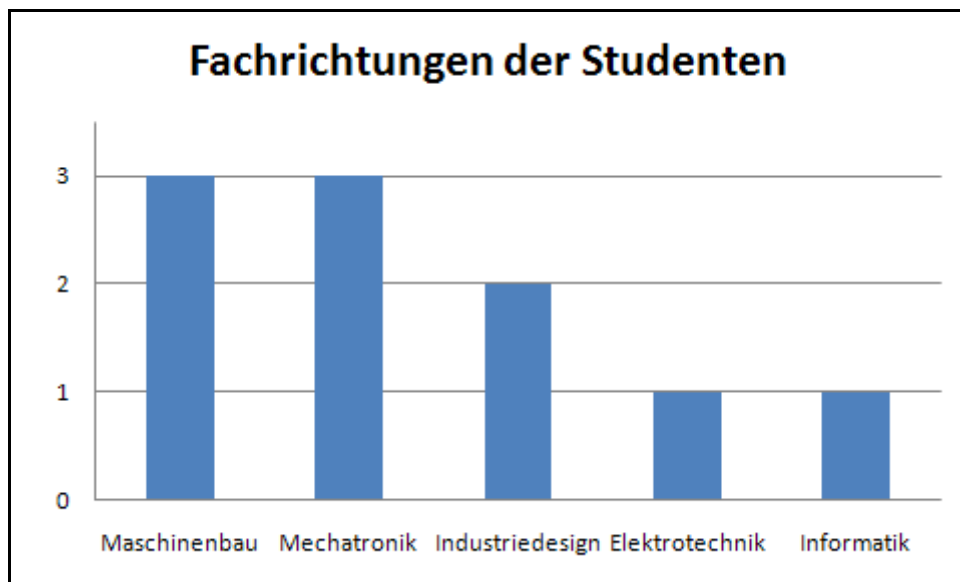


Abbildung 3: Fachrichtungen der Studenten, die an der Untersuchung teilnahmen in absoluten Zahlen.

Bei Betrachtung der Händigkeit ergibt sich eine Verteilung von 41 Personen mit einer rechten Händigkeit und 5 Personen mit einer linken Händigkeit. Auch angesichts dieses Faktors sind die Gruppen gleichverteilt, da Gruppe B und A_2 jeweils 2 Linkshänder zugeordnet wurden und Gruppe A_1 aus 3 Linkshändern bestand.

Zudem wurde die Vertrautheit der Probanden mit Robotern allgemein und Roboter-Singularitäten im Speziellen erfasst. 87 % aller Probanden gaben an, keine oder wenig Erfahrung im Umgang mit Robotern zu haben und weitere 95.6 % berichteten, dass ihnen Roboter-Singularitäten fremd sind. Aus Abbildung 4 und Abbildung 5 geht hervor, dass die Stichprobe auch in Bezug auf die Vertrautheit sowohl mit Robotern als auch mit Roboter-Singularitäten gleichverteilt ist.

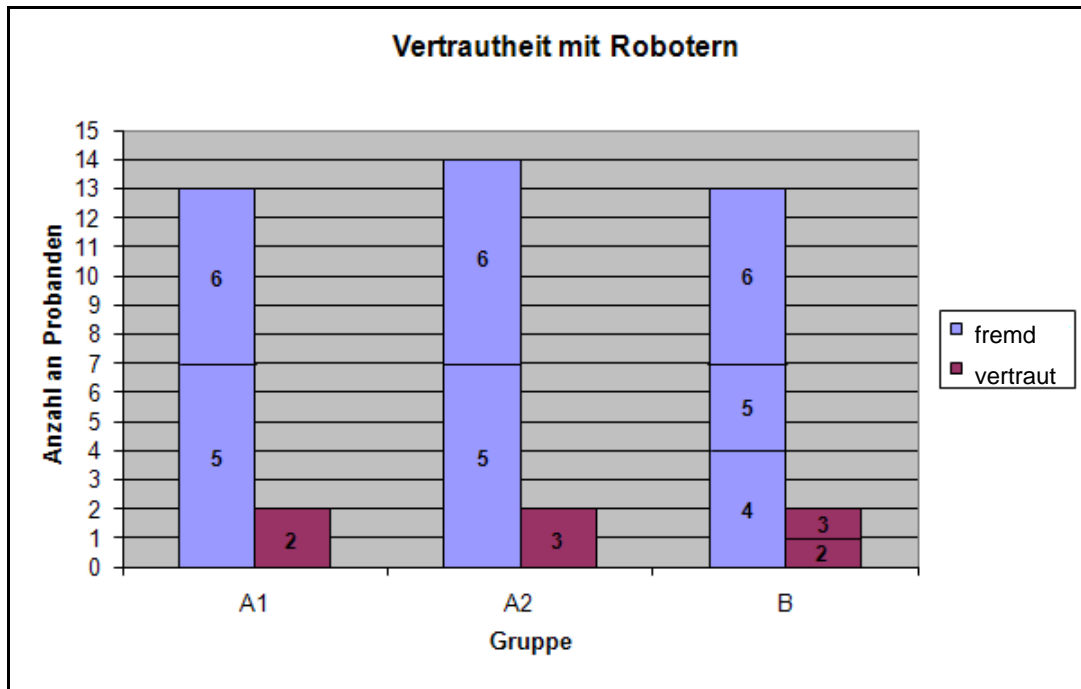


Abbildung 4: Verteilung der Antworten auf die Frage „Wie vertraut ist Ihnen der Umgang mit Robotern?“ wobei die Nummern innerhalb der Balken den Grad der Vertrautheit repräsentieren (2 = vertraut, 3 = eher vertraut, 4 = eher fremd, 5 = fremd, 6 = sehr fremd).

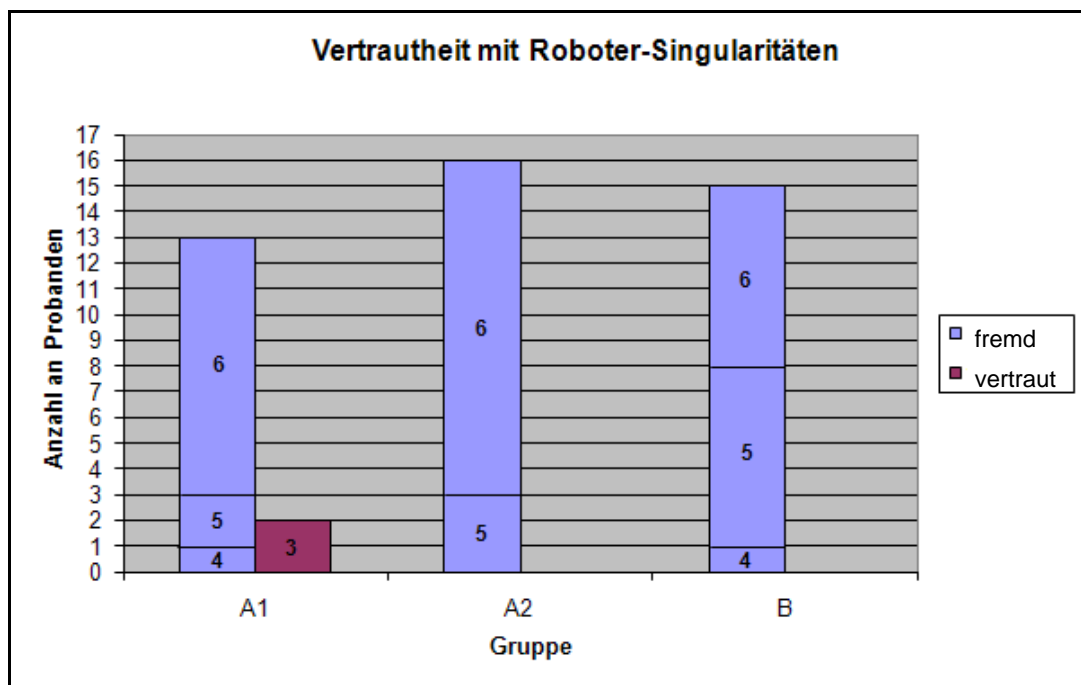


Abbildung 5: Verteilung der Antworten auf die Frage „Wie vertraut sind Ihnen Roboter-Singularitäten?“ wobei die Nummern innerhalb der Balken den Grad der Vertrautheit repräsentieren (3 = eher vertraut, 4 = eher fremd, 5 = fremd, 6 = sehr fremd).

2.1.2 Geräte und Material

Das gesamte Experiment fand an einem DLR/KUKA Leichtbauroboter statt, der insgesamt über sechs unabhängig voneinander bewegliche Gelenke verfügt (Hirzinger et al., 2002). Dieser Leichtbauroboter diente als haptisches Eingabegerät und wurde von den Versuchspersonen während des Experiments bedient wobei die Durchführung der Aufgabe in Form eines Virtual Reality - Szenarios auf eine Leinwand projiziert wurde (siehe Abb. 6). Die Aufzeichnung der Daten erfolgte mittels der Software MATLAB Simulink.



Abbildung 6: Versuchsaufbau im ersten Experiment. Das haptische Gerät dient als Eingabegerät während die Aufgabe in ein Virtual Reality - Szenario auf eine Leinwand projiziert wurde.

Das haptische Feedback bestand einerseits daraus, dass die Versuchspersonen am haptischen Gerät die Kräfte der virtuellen Welt gespürt haben, so zum Beispiel wenn Kollisionen in der virtuellen Welt auftraten, und andererseits die Dynamik des virtuellen Roboters selbst, also wenn dieser in eine singuläre Stellung geriet.

Das visuelle Feedback erfolgte mittels zweier visueller Hilfen. Zunächst einmal erhielt ein Teil der Probanden visuelle Unterstützung in Form von

rotierenden Pfeilen, die in der 3D - Projektion erschienen. Diese Pfeile erfüllten mehrere Funktionen: erstens zeigten sie an, welches Gelenk sich in einer Singularität befand. Dann wurde durch ihre Breite deutlich, wie schwerwiegend dieses Gelenk in einer Singularität ist; wobei galt, je breiter der Pfeil ist, desto schwerer ist die Singularität. Und als drittes zeigten die Pfeile die Richtung, in der der Proband das jeweilige Gelenk bewegen muss, um es aus der Singularität zu befreien. Die zweite Form von visuellen Hilfen war ein sogenannter „Performance Indicator“, welcher in der linken unteren Ecke positioniert war (Abb. 7).



Abbildung 7: Performance Indicator als eine Form des visuellen Feedbacks, welches ein Teil der Probanden bekam.

Dieser bestand wiederum aus zwei Anzeigen: Die obere Anzeige traf eine globale Aussage bezüglich der aufgetretenen Singularitäten, indem der Singularitätsindex aller sechs Gelenke addiert wurde. Dabei galt wieder, je weiter der Balken sich nach rechts bewegte und rot färbte, desto stärker befand sich der Proband in einer Singularität. Die untere Anzeige repräsentierte die Score, welche bei 1 startete. Wenn sich die Versuchsperson in einer Singularität befand, wurden ihr Punkte abgezogen und wenn sie sich in einer Singularität noch weiter bewegte, wurden ihr noch mehr Punkte abgezogen. Dem Probanden wurde also direkt zurückgemeldet, wie erfolgreich er in der Bewältigung der Aufgabe war.

Die Erfassung der nachfolgend beschriebenen Variablen erfolgte im Rahmen von zwei Lego-Spielen. In diesen Lego-Spielen sollten die Versuchspersonen jeweils fünf Lego-Steine nacheinander von einem Ort in der Virtuellen Welt an einen nächsten setzen, wobei den Probanden immer durch Blinken eines Lego-Steins angezeigt wurde, wo sie diesen aufzunehmen bzw. abzusetzen hatten.

Für die Auswertung wurden vier verschiedene Variablen gemessen. Zunächst einmal wurde die Bearbeitungszeit für die Ausführung eines Lego-Spiels erfasst. Dann wurde die zurückgelegte Strecke während des gesamten Lego-Spiels gemessen, nachfolgend als Gesamtstrecke bezeichnet, wobei sowohl

rotatorische als auch translatorische Bewegungen in die Berechnungen eingingen. Da Translation und Rotation unterschiedliche Einheiten besitzen, wurde die Rotation in Translation mit einem bestimmten Gewichtungsfaktor umgerechnet. Der Gewichtungsfaktor repräsentiert hierbei die Größe des Joystickgriffes am haptischen Roboter; eine 180° - Drehung entspricht einer zurückgelegten Strecke von 15 cm. Als dritte Variable wurde das Integral über den zurückgelegten Weg und den Singularitätsindex erhoben, da es einen Unterschied machte, ob die Probanden einen kurzen Weg wählten und dafür viele Singularitäten durchfuhren oder ob sie einen längeren Weg wählten und dafür weniger Singularitäten durchfuhren. Die vierte erfasste Variable bildete der maximale Singularitätsindex. Dieser beschreibt den höchsten erreichten Singularitätswert während eines Lego-Spiels.

2.1.3 *Versuchsplan*

Im ersten Experiment soll untersucht werden, wie sich die Performanz in den ersten beiden Lego-Spielen unterscheidet, wenn Gruppe A visuelle Hilfen als Lernverstärkung erhält während Gruppe B diese visuellen Hilfen nicht erhält. Jede Versuchsperson wurde nur jeweils einer Experimentalgruppe zugewiesen, es fand also keine Messwiederholung statt. Die Performanz wird an den vier oben beschriebenen Variablen gemessen.

Die exakte Hypothese an dieser Stelle ist, dass die Gruppen A in Lego-Spiel 1 durch die visuelle Unterstützung das Lego-Spiel schneller bearbeiten, eine kürzere Gesamtstrecke zurücklegen, ein signifikant niedrigeres Integral über den Weg und den Singularitätsindex und einen geringeren maximalen Singularitätswert aufweisen.

Für das zweite Lego-Spiel wird vorhergesagt, dass die Leistung der Gruppen A mit der von Gruppe B in allen vier Variablen vergleichbar ist, da bei den Gruppen A der negative Effekt der visuellen Hilfen auftreten wird, der darin besteht, dass sie keine bessere Leistung mehr zeigen, wenn die visuellen Hilfen nicht mehr präsent sind.

2.1.4 Versuchsdurchführung

Die Experimente fanden im Zeitraum vom 22.02. bis 09.03.2010, immer von morgens bis zum frühen Nachmittag statt. Die Gesamtdauer des Experiments erstreckte sich auf ungefähr 60 Minuten.

In der im Voraus stattfindenden Instruktion wurde den Probanden grob erklärt, was Roboter-Singularitäten sind und dass es in der nachfolgenden Untersuchung darum geht, diese zu vermeiden. Weiterhin wurde den Versuchspersonen Informationen über die Dauer des Experiments gegeben und dass vor dem eigentlichen Experiment noch zwei Vortests durchgeführt werden sollen. Daraufhin hatten die Probanden die Möglichkeit, Fragen zu stellen.

Im Anschluss wurde für jede Versuchsperson ein Probandencode erstellt, der eine anonymisierte Auswertung und eindeutige Zuordnung der Daten gewährleisten sollte.

Bevor die zwei Vortests durchgeführt wurden, erhielten die Probanden eine Einverständniserklärung, in der sie auf ihre Rechte und Pflichten während der Untersuchung hingewiesen wurden. Diese musste jeweils zwei Mal gegengezeichnet werden, wobei eine Ausführung beim Versuchsleiter (Anhang B) verblieb und eine Ausführung den Probanden mitgegeben wurde (Anhang A).

Der sensomotorische Koordinationstest wurde am Computer durch das Wiener Testsystem standardisiert durchgeführt. Das Testergebnis ermittelte das Wiener Testsystem direkt im Anschluss an die Testung, sodass den Probanden ein unmittelbares Feedback ihrer Leistung gegeben werden konnte. Hierbei wurden die Normen der gesamten Normierungsstichprobe betrachtet.

Danach folgte der MRT-R. Der Testleiter hatte die standardisierte Instruktion des Mental Rotation Test mündlich wiedergegeben um einer eventuell aufgetretenen Ermüdung durch den zuvor durchgeführten SMK vorzubeugen.

Die zwei Vortests wurden in einem separaten, ruhigen Raum durchgeführt um etwaige Störgeräusche bei dieser Art von Tests, bei denen eine gewisse Konzentration vorausgesetzt wird, ausschließen zu können. Der Versuchsleiter war bei beiden Tests die gesamte Zeit anwesend um eventuell aufgetretene Fragen zu beantworten.

Im Anschluss wurde den Probanden ein Video der nachfolgenden Lego Aufgabe gezeigt während der MRT vom Testleiter in der Zwischenzeit

ausgewertet wurde. Anhand der Ergebnisse der beiden Vortests wurden die Versuchspersonen dann jeweils einer Experimentalgruppe A_1 , A_2 oder B parallelisiert zugewiesen, wobei darauf geachtet wurde, dass die in den Vortests erfassten Fähigkeiten in allen Gruppen gleichverteilt waren.

Das nachfolgende Experiment fand nun am Leichtbauroboter statt. Da alle Probanden keine bis wenig Erfahrung mit Robotern hatten, wurde ihnen zu Beginn die Möglichkeit gegeben, den Roboter beliebig in alle Richtungen zu bewegen um sich an die Funktionsweise dieses technischen Geräts zu gewöhnen. Hierbei wurde ihnen vom Versuchsleiter erklärt, wie man den Roboter in Betrieb nimmt und über wie viele Gelenke er verfügt. Weiterhin wurden sie auf die Darstellung des Szenarios in der virtuellen Realität hingewiesen und sie sollten die Kräfte in der virtuellen Welt selbst erleben, indem sie den Roboter an eine virtuelle Seitenwand bzw. den Boden der virtuellen Welt steuerten.

Nach dieser Eingewöhnungsaufgabe folgte die erste Lego-Aufgabe. Diese diente zunächst ebenfalls Übungszwecken, um sich an die Durchführung des Lego-Spiels zu gewöhnen, wurde aber dennoch aufgezeichnet, da hier ein Unterschied hinsichtlich der beiden Experimentalgruppen bestand. Sowohl Gruppe A_1 als auch Gruppe A_2 wurden bei der Ausführung der Aufgabe die visuellen Hilfen zur Verfügung gestellt während Gruppe B diese nicht bekam. Beiden Gruppen wurden in der vorausgegangenen Instruktion, in der erklärt wurde wie das Lego-Spiel funktioniert nochmals darauf hingewiesen, dass sie Roboter-Singularitäten vermeiden sollen. Gruppe A konnte hierzu die visuellen Hilfen nutzen, die ihnen angezeigt wurden während alle Personen in Gruppe B auf sich allein gestellt waren und nur die Information hatte, dass sich der Roboter, wenn er sich in einer Singularität befindet, nicht mehr in alle Richtungen bewegen kann.

Das erste Lego-Spiel diente als Übung zur Ausführung des Lego-Spiels 2, welches gleich im Anschluss stattfand. In diesem verfügte keine der beiden Gruppen über visuelle Hilfen um zu prüfen, ob es Gruppe A, die die visuellen Hilfen im ersten Lego-Spiel hatten, besser gelang, Roboter-Singularitäten zu vermeiden oder ob der in Absatz 1.4 beschriebene negative Effekt von visuellen Hilfen auftrat. Das Lego-Spiel 2 war genauso aufgebaut wie das Lego-Spiel 1 mit dem Unterschied, dass sowohl der virtuelle Roboter als auch die Lego-Steine in der virtuellen Welt anders angeordnet waren. Die Versuchspersonen wurden vor jedem Lego-Spiel darauf hingewiesen, welche vier Variablen erfasst werden.

Im Anschluss an das erste Experiment wurden die Probanden gebeten, einen Fragebogen auszufüllen, der einerseits grundlegende Informationen wie Alter, Geschlecht, Händigkeit und Beruf erfragte und andererseits spezifische Informationen über die Vertrautheit mit Robotern allgemein und Roboter-Singularitäten im Speziellen erfassen sollte. Damit war das erste Experiment beendet.

2.2 Ergebnisse

Zur Analyse der Daten der ersten beiden Lego-Spiele wurde eine univariate einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) ohne Messwiederholung verwendet, da für jede Variable die Mittelwerte von drei Gruppen miteinander verglichen wurden und somit eine Alpha-Kumulierung auftreten würde, die die ANOVA wiederum in ihren Berechnungen berücksichtigt. Es wurde eine Varianzanalyse ohne Messwiederholung durchgeführt, da unabhängige Stichproben miteinander verglichen wurden.

Eine Voraussetzung für die Durchführung einer ANOVA ist, dass Normalverteilung vorliegt, was wiederum für jede Variable mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft wurde. Zudem wurde mittels des Levene-Tests überprüft, ob Varianzgleichheit vorliegt, da dies eine weitere Voraussetzung für die Durchführung einer univariaten Varianzanalyse darstellt.

Das Signifikanzniveau bei der gesamten Auswertung betrug $\alpha = .05$. Die Auswertung erfolgte mittels der Statistik-Software SPSS 11.5.1. Eine Übersicht über die Mittelwerte und Standardabweichungen jeder Variable für Lego-Spiel 1 ist Tabelle 1 und für Lego-Spiel 2 Tabelle 2 entnehmbar.

2.2.1 Bearbeitungszeit

Der Kolmogorov-Smirnov-Test zeigte keine signifikante Abweichung der Verteilung der Bearbeitungszeit in Lego-Spiel 1 von einer theoretisch angenommenen Normalverteilung ($Z = 1.36$, $p = .051$). Der Levene-Test für Varianzhomogenität ergab eine signifikante Differenz der Varianzen für die Bearbeitungszeit in Lego-Spiel 1 ($F(2, 43) = 3.74$, $p = .032$). Der daraufhin durchgeführte Welch-Test wurde hoch signifikant ($F_{\text{kor.}}(2, 24.88) = 12.16$, $p <$

.001). Ein Tamhane's T² - Test zeigte eine signifikante Differenz der Bearbeitungszeiten von Gruppe A₂ und Gruppe B von $d = 47.3$ s ($p < .001$). Es ergab sich weder für den Vergleich von Gruppe A₂ und Gruppe A₁ ($d = 7$ s, $p = .988$) noch für Gruppe A₁ und Gruppe B ($d = 54.4$ s, $p = .091$) ein signifikanter Unterschied in der Bearbeitungszeit in Lego-Spiel 1.

Hinsichtlich der Bearbeitungszeit in Lego-Spiel 2 wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test nicht signifikant ($Z = .943$, $p = .336$). Der Levene-Test auf Varianzhomogenität wurde ebenfalls nicht signifikant ($F(2, 43) = .67$, $p = .517$). Die einfaktorielle ANOVA ohne Messwiederholung ergab keinen signifikanten Effekt der Bearbeitungszeit im Lego-Spiel 2 ($F(2, 43) = 2.613$, $p = .085$).

Tabelle 1

Mittelwerte und Standardabweichungen der vier Variablen Bearbeitungszeit, Gesamtstrecke, Integral über den Weg und den Singularitätsindex und maximaler Singularitätsindex für alle drei Gruppen in Lego-Spiel 1.

Variable	Deskriptive Statistik	Lego-Spiel 1		
		Gruppe A ₁	Gruppe A ₂	Gruppe B
Bearbeitungszeit in Sekunden	M	141.2	134.1	86.8
	SD	86.5	33.8	21.5
Gesamtstrecke in Meter	M	17.6	16	13.8
	SD	6.3	4.4	3.3
Integral über den Weg und den Singularitätsindex	M	.552	.862	.693
	SD	.345	.733	.467
maximaler Singularitätsindex	M	.542	.654	.558
	SD	.209	.252	.207

2.2.2 Gesamtbewegungen

Der Kolmogorov-Smirnov-Test wurde für die Gesamtbewegungen in Lego-Spiel 1 nicht signifikant ($Z = 1.058$; $p = .213$). Der für die Prüfung auf Varianzhomogenität durchgeführte Levene-Test zeigte indes eine signifikante

Differenz der Varianzen ($F(2, 43) = 4.573$; $p = .016$). Der Welch-Test mit einem korrigierten F-Wert von $F_{\text{korr.}}(2, 27.152) = 2.613$ wurde für die Gesamtbewegungen in Lego-Spiel 1 nicht signifikant ($p = .092$).

Bei den Gesamtbewegungen in Lego-Spiel 2 wurde ein Ausreißer eliminiert. Daraufhin ergab sich gemäß dem Kolmogorov-Smirnov-Test zur Prüfung auf Normalverteilung keine Signifikanz mehr für diese Variable ($Z = 1.185$, $p = .12$). Der Levene-Test auf Varianzhomogenität wurde für die Gesamtbewegungen in Lego-Spiel 2 nicht signifikant ($F(2, 42) = 1.895$; $p = .163$). Die ANOVA ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen hinsichtlich dieser Variable ($F(2, 42) = 1.291$, $p = .286$).

Tabelle 2

Mittelwerte und Standardabweichungen der vier Variablen Bearbeitungszeit, Gesamtstrecke, Integral über den Weg und den Singularitätsindex und maximaler Singularitätsindex für alle drei Gruppen in Lego-Spiel 2.

Variable	Deskriptive Statistik	Lego-Spiel 2		
		Gruppe A ₁	Gruppe A ₂	Gruppe B
Bearbeitungszeit in Sekunden	M	81.8	81.3	64.6
	SD	26.3	24.4	19.7
Gesamtstrecke in Meter	M	12	10.9	11
	SD	2.7	1.5	2.2
Integral über den Weg und den Singularitätsindex	M	.719	.78	.776
	SD	.342	.24	.246
maximaler Singularitätsindex	M	.735	.703	.717
	SD	.167	.177	.169

2.2.3 Integral über den zurückgelegten Weg und den Singularitätsindex

Die Verteilung des Integrals über den Weg und den Singularitätsindex in Lego-Spiel 1 weicht gemäß dem Kolmogorov-Smirnov-Test nicht signifikant von einer Normalverteilung ab ($Z = .867$; $p = .440$). Der Levene-Test auf

Varianzhomogenität wurde für diese Variable hoch signifikant ($F(2, 43) = 5.323$; $p = .009$). Der im Anschluss durchgeführte Welch-Test wurde für das Integral über den Weg und den Singularitätsindex in Lego-Spiel 1 nicht signifikant ($F_{\text{kor.}}(2, 27.138) = 1.284$; $p = .293$).

Der Kolmogorov-Smirnov-Test ergab für das Integral über den Weg und den Singularitätsindex in Lego-Spiel 2 keine Signifikanz ($Z = 1.096$, $p = .18$). Der Levene-Test auf Varianzhomogenität zeigte ebenfalls keine signifikante Differenz der Varianzen in den drei Gruppen ($F(2, 43) = .169$, $p = .845$). Die durchgeführte einfaktorielle ANOVA zeigte hinsichtlich des Integrals über den Weg und den Singularitätsindex in Lego-Spiel 2 keinen signifikanten Unterschied ($F(2, 43) = .228$, $p = .797$).

2.2.4 maximaler Singularitätsindex

Laut dem Kolmogorov-Smirnov-Test zeigt die Verteilung der Variable „maximaler Singularitätsindex“ in Lego-Spiel 1 keine signifikante Abweichung von einer theoretisch angenommenen Normalverteilung ($Z = .817$, $p = .518$). Zudem wurde der Levene-Test auf Varianzhomogenität nicht signifikant ($F(2, 43) = .746$, $p = .48$). Eine einfaktorielle ANOVA ohne Messwiederholung zeigte hinsichtlich des maximalen Singularitätsindex in Lego-Spiel 1 keinen signifikanten Unterschied ($F(2, 43) = 1.143$, $p = .329$).

Bei dem maximalen Singularitätsindex in Lego-Spiel 2 wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test nicht signifikant ($Z = .853$, $p = .46$). Zudem ergab auch der Levene-Test keine Signifikanz ($F(2, 43) = .427$, $p = .655$). Die daraufhin durchgeführte einfaktorielle Varianzanalyse wurde ebenfalls nicht signifikant ($F(2, 43) = .133$, $p = .876$).

2.3 Diskussion

2.3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zunächst einmal wurde ersichtlich, dass sich die Gruppen A_1 und A_2 sowohl in Lego-Spiel 1 als auch in Lego-Spiel 2 in keiner der vier erfassten Variablen

signifikant voneinander unterscheiden. Dies wurde insofern erwartet, da beide Gruppen der gleichen experimentellen Bedingung ausgesetzt waren.

Hinsichtlich der Bearbeitungszeit in Lego-Spiel 1 wurde ersichtlich, dass Gruppe B entgegen der Hypothese signifikant langsamer war als Gruppe A₂ aber nicht als Gruppe A₁ obwohl die Zeitdifferenz zwischen Gruppe B und Gruppe A₁ höher war. Die Zeitdifferenz zwischen Gruppe B und Gruppe A₁ ist jedoch mit $p = .091$ nur knapp nicht signifikant geworden, was unter Umständen darauf zurückzuführen ist, dass Gruppe A₁ eine Versuchsperson weniger beinhaltete als Gruppe A₂. Auch im zweiten Lego-Spiel war Gruppe B langsamer als die Gruppen A₁ und A₂, was aber hier nicht signifikant wurde. Da die Mittelwertsunterschiede mit $p = .085$ jedoch nur knapp einem signifikanten Unterschied entgingen, bleibt anzunehmen, dass sich dieser Unterschied eingestellt hätte, wenn mehr Versuchspersonen pro Gruppe verfügbar gewesen wären. Auffällig ist jedoch, dass sich die Bearbeitungszeit bei den Gruppen A im Vergleich zu der in Lego-Spiel 1 drastisch reduzierte.

Was die Gesamtbewegungen betrifft, so hat Gruppe B in Lego-Spiel 1 die kürzeste Strecke zurückgelegt, was aber weder mit Gruppe A₁ noch mit Gruppe A₂ signifikant wurde, die Gruppen unterscheiden sich also hinsichtlich der zurückgelegten Strecke in Lego-Spiel 1, wenn auch knapp ($p = .092$), nicht. Weiterhin gab es auch keine signifikanten Mittelwertsunterschiede bezüglich der Gesamtbewegungen in Lego-Spiel 2, wobei erwähnt werden muss, dass hier nicht Gruppe B sondern Gruppe A₂, nach Ausschluss des Ausreißers, die geringsten Gesamtbewegungen gezeigt hat.

Ebenso gibt es keine signifikanten Unterschiede bei den drei Gruppen in Bezug auf das Integral über den zurückgelegten Weg und den Singularitätsindex und den maximal erreichten Singularitätsindex sowohl in Lego-Spiel 1 als auch in Lego-Spiel 2. In Lego-Spiel 2 liegen die Gruppen bezüglich ihrer Leistung in der Variable „Integral über den Weg und den Singularitätsindex“ jedoch noch näher zusammen als in Lego-Spiel 1. In Lego-Spiel 1 zeigt ganz entgegen der Hypothese Gruppe A₂ sowohl den höchsten maximalen Singularitätsindex als auch das höchste Integral über den Weg und den Singularitätsindex, was nur auf Unterschiede innerhalb der Gruppen zurückführbar sein kann, da sowohl Gruppe A₁ als auch Gruppe A₂ derselben experimentellen Bedingung unterzogen wurden. Es wurden allerdings dennoch keine signifikanten Unterschiede deutlich.

Ähnliche Befunde zeigen sich bei dem Integral über den Weg und den Singularitätsindex und dem maximalen Singularitätsindex im zweiten Lego-Spiel. Auch hier liegen alle drei Gruppen in ihrer Leistung sehr nah beieinander, wobei auch hier kein signifikanter Effekt zu Gunsten einer Gruppe auftrat.

2.3.2 *Theoretische Folgerungen*

Dass sich hinsichtlich der Bearbeitungszeit in Lego-Spiel 1 Varianzheterogenität ergab, lässt erkennen, dass die Leistung innerhalb der drei Gruppen stark voneinander abweicht. Das bedeutet, dass es in jeder Gruppe sowohl sehr langsame als auch sehr schnelle Probanden gab. Da aber keine der drei Gruppe eine signifikant bessere Leistung in der Vermeidung von Roboter-Singularitäten gezeigt hat, kann man nicht sagen, dass eine schnelle Bearbeitungszeit zu einer besseren Vermeidung von Singularitäten führt bzw. dass eine langsamere Bearbeitungszeit zu einer besseren Leistung führt.

Ebenso verhält es sich mit den Gesamtbewegungen in Lego-Spiel 1. Auch hier weicht die Leistung innerhalb der Gruppen stark voneinander ab, während es keiner Gruppe gelang, signifikant besser in der Vermeidung von Singularitäten zu sein.

Die visuellen Hilfen scheinen dennoch einen Effekt zu haben, denn während in Lego-Spiel 1, als die visuellen Hilfen präsent waren, in drei von vier Variablen Varianzheterogenität herrschte, herrschte in Lego-Spiel 2, in dem keine Gruppe visuelle Hilfen bekam, in jeder der vier Variablen Varianzheterogenität. Das bedeutet, dass die Leistungen innerhalb jeder Gruppe relativ nah beieinander lagen, auch wenn zwei der drei Gruppen einen Durchgang zuvor noch Unterstützung durch visuelle Hilfen bekam.

3. Experiment II

Das zweite Experiment wurde durchgeführt, da bei vorherigen Studien (Vgl. Yuviler-Gavish et al., 2009) herausgefunden wurde, dass visuelle Hilfen die Lernleistung einschränken können, da sie eine aktive Exploration und intensive Auseinandersetzung mit der Aufgabe eindämmen. Um dies dennoch zu ermöglichen und einen positiven Effekt der visuellen Hilfen nachzuweisen, sollte ein sogenanntes Explorationstraining durchgeführt werden, welches das Verständnis von Roboter-Singularitäten bei den Versuchspersonen weiter schulen sollte.

3.1 Methoden

3.1.1 Versuchspersonen

Am zweiten Experiment nahmen alle Versuchspersonen der Gruppe A teil, da es eine notwendige Voraussetzung für das zweite Experiment war, im ersten Experiment visuelle Hilfen erhalten zu haben. Um Gruppe A zwei verschiedenen Bedingungen zuzuweisen, wurde bereits im ersten Experiment eine Unterteilung in Gruppe A₁ und Gruppe A₂ vorgenommen. Gruppe A₂ setzte sich aus 16 Personen zusammen und Gruppe A₁ aus 15 Personen, wobei auch wieder darauf geachtet wurde, dass diese hinsichtlich der zwei Merkmale „Mentale Rotation“ und „Sensomotorische Koordination“ gleichverteilt waren. Eine nähere Beschreibung der zwei Gruppen kann den in Absatz 2.1.1 getroffenen Aussagen entnommen werden.

3.1.2 Geräte und Material

Im zweiten Experiment kamen dieselben Geräte zur Anwendung wie schon in Experiment 1, daher soll auf eine erneute Ausführung an dieser Stelle verzichtet werden. Lediglich der geringfügig geänderte Versuchsaufbau für Experiment II wird in Abbildung 8 noch einmal graphisch dargestellt.

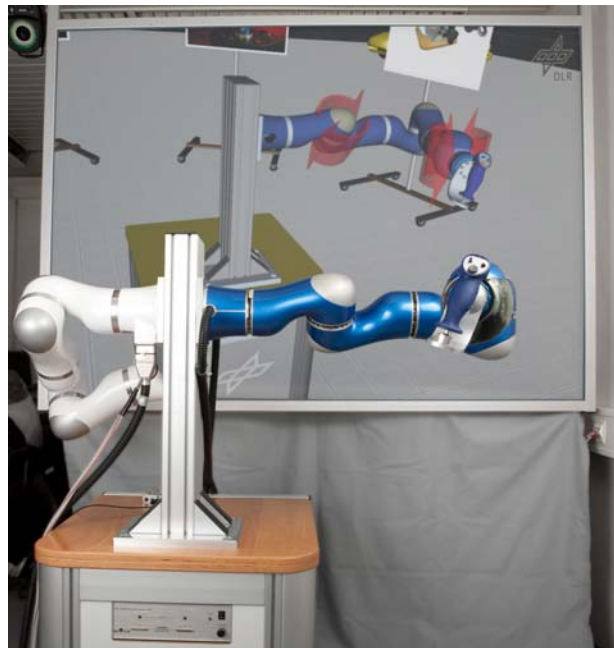
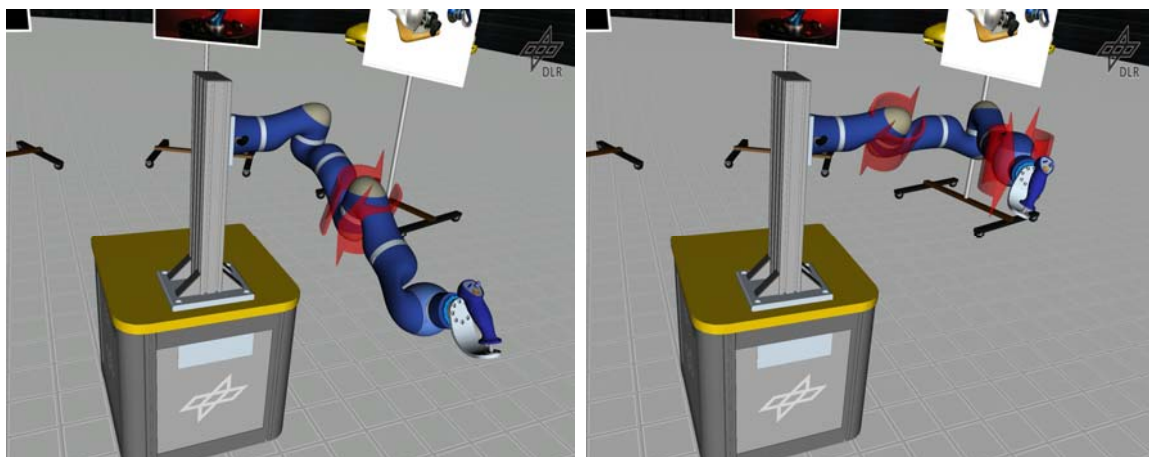


Abbildung 8: Versuchsaufbau im zweiten Experiment. Das haptische Gerät dient als Eingabegerät während das Explorationstraining und das nachfolgende Lego-Spiel in ein Virtual Reality - Szenario auf eine Leinwand projiziert wurde.

Zusätzlich hinzu kamen noch Bildschirmfotos der vier zu explorierenden Singularitäten des Leichtbauroboters, die den Probanden das durchgeführte Explorationstraining erleichtern sollten (Abb. 9).



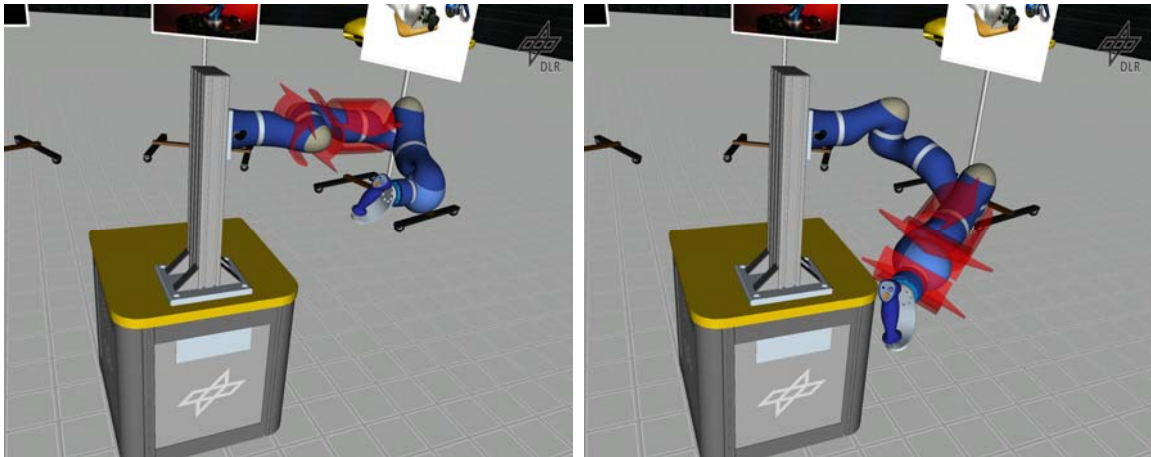


Abbildung 9: Darstellung der vier Singularitäten des Leichtbauroboters, die die Probanden während des Explorationstrainings durchliefen, hier mit visuellen Hilfen (Pfeilen).

3.1.3 Versuchsplan

Dem zweiten Experiment lag die Annahme zu Grunde, dass die Gruppen A, trotz Darbietung der visuellen Hilfen, noch keine bessere Performanz bei der Vermeidung der Roboter-Singularitäten zeigen, da sie sich mit diesen noch nicht aktiv auseinandergesetzt haben sondern sich auf die visuellen Hilfen verlassen haben. Um den Probanden dies zu ermöglichen, wurde das zweite Experiment durchgeführt.

Hierfür sollte ein sogenanntes Explorationstraining durchgeführt werden, in welchem alle vier Singularitäten des Leichtbauroboters erlebt werden sollten. Dabei herrschten wieder zwei verschiedene experimentelle Bedingungen vor: Gruppe A_1 wurden visuelle Hilfen während des Explorationstrainings zur Verfügung gestellt während Gruppe A_2 keine visuellen Hilfen zur Unterstützung hatte. Die visuellen Hilfen waren diesmal ausschließlich rote rotierende Pfeile, die die aufgetretene Singularität am jeweiligen Gelenkwinkel des Leichtbauroboters in der virtuellen Welt anzeigte.

Die vorliegende Hypothese hierbei war, dass Gruppe A_1 eine längere Bearbeitungsdauer des dritten Lego-Spiels benötigt und eine längere Gesamtstrecke zurücklegt. Weiterhin weist Gruppe A_1 ein höheres Integral über den Weg und den Singularitätsindex auf sowie einen höheren maximalen Singularitätswert, da sich die Gruppe A_1 auch im Explorationstraining wieder auf die Pfeile zur Orientierung verlässt und sich demnach in dem ohne visuelle Hilfen

durchgeführten dritten Lego-Spiel kein Lerneffekt und folglich keine gute Vermeidung der Roboter-Singularitäten einstellt.

3.1.4 Versuchsdurchführung

Die Probanden starteten immer jeweils in einer Singularität und sollten durch Probieren versuchen zu erkennen, welche Gelenke von der Singularität betroffen waren um das Verständnis für Roboter-Singularitäten zu schärfen. Danach sollte der Roboter aus der Singularität herausgeführt werden, was wiederum dem Zweck diente, die eigenständige Lösungsfindung zu fördern. Danach wurde der Roboter wieder in die Singularität zurückgeführt. Dieser Ablauf erfolgte für alle vier Singularitäten nacheinander. Die Versuchspersonen wurden darauf hingewiesen, dass keinerlei Parameter während dieses Trainings erfasst wurden, damit sich bei den Probanden kein Leistungs- oder Zeitdruck aufbaute. Da einige Roboter-Singularitäten recht komplex waren, wurden den Versuchspersonen Abbildungen der Singularitäten zur Verfügung gestellt, die sie mit der Stellung der Gelenkwinkel des haptischen Geräts vergleichen konnten. Hierbei wurde darauf geachtet, dass die Abbildungen der Gruppe A₁ visuelle Hilfen beinhaltete und die der Gruppe A₂ nicht, entsprechend ihrer experimentellen Zuordnung.

Anschließend an das Explorationstraining wurde ein drittes Lego-Spiel durchgeführt. Dieses ähnelte den zwei vorherigen Lego-Spielen, allerdings mit dem Unterschied, dass andere Singularitäten durchfahren wurden und der virtuelle Roboter und die Lego-Steine in der virtuellen Welt anders angeordnet waren. Im Lego-Spiel 3 wurden weder Gruppe A₁ noch Gruppe A₂ visuelle Hilfen zur Verfügung gestellt. Die Probanden wurden erneut darauf hingewiesen, dass die vier bereits erläuterten Variablen erfasst wurden.

3.2 Ergebnisse

Für die Auswertung der erhobenen Daten im zweiten Experiment wurde ein t-Unterschiedstest für unabhängige Stichproben verwendet, da die Mittelwerte von zwei voneinander unabhängigen Stichproben miteinander verglichen werden sollen.

Die Voraussetzung für den oben genannten Test ist es einerseits, dass Normalverteilung bei der jeweils untersuchten Variable gegeben ist, was nachfolgend mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft wurde, und andererseits, dass Varianzgleichheit in den beiden untersuchten Gruppen herrscht, was wiederum mit dem Levene-Test ermittelt wurde.

Das Signifikanzniveau bei der Auswertung betrug, wie auch im ersten Experiment, $\alpha = .05$. Die Auswertung erfolgte ebenfalls mit der Statistiksoftware SPSS 11.5.1. Zur besseren Übersicht wurden die Ergebnisse in Tabelle 3 zusammengefasst.

3.2.1 *Bearbeitungszeit*

Der Kolmogorov-Smirnov-Test zeigte in Bezug auf die Verteilung der Bearbeitungszeit in Lego-Spiel 3 keine signifikante Abweichung von einer theoretisch angenommenen Normalverteilung ($Z = .722$, $p = .674$). Der Levene-Test auf Varianzgleichheit wurde mit einem F-Wert von $F = 10.713$ hoch signifikant ($p = .003$). Der t-Test für unabhängige Stichproben ergab keine signifikante Differenz in der Bearbeitungszeit in Lego-Spiel 3 zwischen Gruppe A_1 und Gruppe A_2 ($t(17.996) = .714$, $p = .484$).

3.2.2 *Gesamtbewegungen*

Der zur Überprüfung auf Normalverteilung durchgeführte Kolmogorov-Smirnov-Test wurde für die Gesamtbewegungen in Lego-Spiel 3 nicht signifikant ($Z = .812$, $p = .524$). Der Levene-Test auf Varianzhomogenität wurde ebenfalls nicht signifikant ($F = 2.35$, $p = .136$). Der t-Test für unabhängige Stichproben wurde für die Gesamtbewegungen in Lego-Spiel 3 nicht signifikant ($t(29) = 1.758$, $p = .089$).

Tabelle 3

Mittelwerte und Standardabweichungen der vier Variablen Bearbeitungszeit, Gesamtstrecke, Integral über den Weg und den Singularitätsindex und maximaler Singularitätsindex für beide Gruppen in Lego-Spiel 3.

Variable	Deskriptive Statistik	Lego-Spiel 3	
		Gruppe A ₁	Gruppe A ₂
Bearbeitungszeit in Sekunden	M	78.4	72.1
	SD	31.9	12.5
Gesamtstrecke in Meter	M	11.8	10.3
	SD	2.8	1.6
Integral über den Weg und den Singularitätsindex	M	.404	.417
	SD	.258	.237
maximaler Singularitätsindex	M	.69	.717
	SD	.124	.147

3.2.3 Integral über den Weg und den Singularitätsindex

Hinsichtlich des Integrals über den Weg und den Singularitätsindex liegt gemäß dem Kolmogorov-Smirnov-Test keine signifikante Abweichung von einer Normalverteilung vor ($Z = 1.243$, $p = .091$). Der Levene-Test auf Varianzgleichheit ergab einen Wert von $F = .305$ und wurde somit nicht signifikant ($p = .585$). Der im Anschluss durchgeführte t-Test für unabhängige Stichproben zeigte keine signifikante Differenz im Hinblick auf das Integral über den Weg und den Singularitätsindex ($t(29) = -.136$, $p = .893$).

3.2.4 maximaler Singularitätsindex

Der Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung wurde für den maximalen Singularitätsindex in Lego-Spiel 3 nicht signifikant ($Z = .533$, $p = .939$). Zudem ergab der Levene-Test für Varianzhomogenität keine signifikante Differenz

der Varianzen von Gruppe A_1 und Gruppe A_2 ($F = .015$, $p = .904$). Ein t-Test für unabhängige Stichproben wurde mit einem t-Wert von $t(29) = -.547$ nicht signifikant ($p = .589$).

3.3 Diskussion

3.3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In allen vier erfassten Variablen in Lego-Spiel 3 traten keine signifikanten Mittelwertsunterschiede zwischen den zwei Gruppen auf. Bis auf die Bearbeitungszeit konnte Varianzhomogenität nachgewiesen werden, das bedeutet, dass die Leistungen innerhalb der Gruppen recht dicht zusammen lagen.

Gruppe A_1 benötigte gemäß der aufgestellten Hypothese eine längere Bearbeitungszeit und legte eine längere Strecke zurück. Diese Befunde wurden allerdings in beiden Fällen nicht signifikant, wenn auch nur knapp bei den Gesamtbewegungen ($p = .089$). Allerdings erzielte Gruppe A_1 entgegen der Hypothese kein höheres Integral über den Weg und den Singularitätsindex und auch keinen höheren maximalen Singularitätsindex, auch wenn diese Befunde ebenfalls keine Signifikanz aufwiesen.

3.3.1 Theoretische Folgerungen

Die oben aufgeführten Befunde lassen darauf schließen, dass Gruppe A_1 , der während des Explorationstrainings die visuellen Hilfen zur Verfügung gestellt wurden, das dritte Lego-Spiel unter Umständen bewusster ausgeführt hat, da sie sowohl länger für die Bearbeitung der Aufgabe benötigte als auch eine weitere Strecke zurücklegte, auch wenn diese Befunde nicht signifikant wurden.

Dagegen spricht allerdings, dass Gruppe A_1 und Gruppe A_2 ein annähernd gleich hohes Integral über den Weg und den Singularitätsindex sowie fast denselben maximalen Singularitätsindex aufweisen. Zwar hat sich der Singularitätsindex, im Vergleich zu dem in Lego-Spiel 1 und Lego-Spiel 2, drastisch reduziert, aber das geschah nicht zu Gunsten einer bestimmten Gruppe, sondern mag vielleicht darauf zurückzuführen sein, dass das dritte Lego-Spiel

einfacher als die ersten beiden war oder dass beide Gruppen A Lerneffekte zeigten.

Dies spricht also gegen die aufgestellte Hypothese, dass Gruppe A₁ eine bessere Leistung im dritten Lego-Spiel zeigt, da sie durch die visuellen Hilfen zu Beginn des Experimentes und dem zusätzlichen Explorationstraining ohne visuellen Hilfen die Vermeidung von Roboter-Singularitäten am meisten verinnerlicht hat.

4. Gesamtdiskussion

4.1 Betrachtung der Hypothesen

Bei Betrachtung der gesamten Ergebnisse lässt sich schließen, dass weder die erste Hypothese gemäß der vorher getätigten Überlegungen bestätigt werden konnte noch die zweite Hypothese.

Die erste Hypothese besagte, dass die Gruppen A eine bessere Performanz zeigen würde als die Gruppe B. Dies war nicht der Fall, im Gegenteil zeigten die Gruppen A eine längere Bearbeitungsdauer, die für Gruppe A₂ sogar signifikant wurde, und eine längere Gesamtstrecke bei gleicher unbefriedigender Vermeidung von Singularitäten wie Gruppe B. Die Performanz in Lego-Spiel 2 entsprach schon mehr der getroffenen Vorhersage, nämlich dass sich die Leistungen der zwei Gruppen anpassen, wenn die visuellen Hilfen für die Gruppen A nicht mehr präsent sind, jedoch wurden diese Befunde nicht signifikant.

Die zweite Hypothese konnte ebenfalls nicht belegt werden, da Gruppe A₁ zwar eine längere Bearbeitungsdauer und Wegstrecke brauchte, aber keine schlechtere Leistung in der Vermeidung von Singularitäten zeigte. Ohnehin wurden die Ergebnisse nicht signifikant.

4.2 Kritische Aspekte des Versuchsaufbaus

Über alle zwei Experimente bzw. drei Lego-Spiele hinweg fällt auf, dass die Gruppen A₁ und A₂ immer weniger Zeit benötigten und ebenfalls eine immer kürzere Strecke zurücklegten. Allerdings ist es fraglich, inwieweit solche Aussagen getroffen werden können, da vorher kein Vortest stattfand, in dem überprüft wurde, ob alle Lego-Spiele den gleichen Schwierigkeitsgrad besitzen, denn nur dann können die Spiele verglichen und Aussagen zu eventuell eingetretenen Verbesserungen getroffen werden.

Nach den Experimenten wurden Probanden aller drei Gruppen um ein Feedback gebeten und direkt befragt, ob sie das Konzept der Roboter-Singularitäten nun besser verstehen und sich im Stande sehen, diese zu vermeiden. Die Antworten auf diese Fragen fielen sehr gemischt aus. Einige berichteten, dass sie nicht verstanden hätten, was Roboter-Singularitäten sind und

diese somit auch nicht vermeiden konnten. Das änderte sich auch nach dem Explorationstraining nicht. Wiederum andere erzählten, dass sie eine gute Vorstellung von Singularitäten gewonnen haben und diese auch gut vermeiden konnten, was sich allerdings nicht in ihrer Leistung in den Lego-Spielen widerspiegelte.

Es könnten zudem einige Verbesserungen am Versuchsaufbau für zukünftige Experimente durchgeführt werden. So stimmte das haptische Gerät nicht mit dem in der virtuellen Welt abgebildeten Roboter überein, sodass sich der reale Roboter teilweise in einer Singularität befand, was die Probanden auch bemerkten, es ihnen aber in der virtuellen Welt nicht angezeigt wurde. Diese Tatsache könnte den Lerneffekt gehemmt haben.

Zudem trat am haptischen Gerät in bestimmten Momenten die sogenannte Kollisionsvermeidung in Kraft. Das bedeutet, dass wenn zwei Arme des Roboters zu nah aneinander kamen, automatisch ein Mechanismus ausgelöst wurde, der eine weitere Bewegung des Roboters in diese Richtung verhinderte. Dies kam der Blockierung beim Auftreten einer Singularität sehr nahe, was die Probanden allerdings wiederum nicht wussten, sich somit auch nicht erklären konnten und den Lernerfolg wiederum erschwerte.

Weiterhin sollte angeführt werden, dass das erste Lego-Spiel nur etwas über 2 Minuten dauerte. Aufgrund der Tatsache, dass der Umgang mit dem Roboter und das Virtual Reality - Szenario für den Großteil der Probanden eine absolut neue Erfahrung darstellte und das erste Lego-Spiel dafür gedacht war, sich an die Darstellung der visuellen Hilfen und die Handhabung des Versuchsaufbaus zu gewöhnen, könnte diese Zeit zu knapp bemessen gewesen sein für diese Zielsetzung. In künftigen Studien sollte für dieses, als eine Art Orientierung angedachtes, Lego-Spiel eine längere Dauer angestrebt werden, da den Probanden sonst keine Zeit für eine Einarbeitung und damit verbunden kognitive Entlastung durch die visuellen Hilfen, so wie es Chandler & Sweller (1991) beschrieben, bleibt. Sweller beschrieb in einem weiteren Artikel (2003) zudem, dass vor allem Übung zu einer Entlastung des Arbeitsgedächtnisses führt, da dadurch Tätigkeiten automatisiert werden. Hinsichtlich dieser Befunde könnte also durchaus eine bessere Performanz auftreten, wenn das Lego-Spiel über eine längere Dauer verfügen würde und dementsprechend eine höhere Chance zur Automatisierung besteht.

Zudem stellt sich die Frage, ob die erfassten Variablen denn tatsächlich eine aussagekräftige Erklärung über den Lernerfolg liefern. Denn es konnte zwar festgestellt werden, dass im ersten Lego-Spiel ein signifikanter Mittelwertsunterschied in der Bearbeitungszeit zwischen Gruppe A₂ und Gruppe B herrscht, es zeigte jedoch keine der beiden Gruppen eine signifikant bessere Performanz bei der Vermeidung der Singularitäten. Für Folgestudien wäre die Betrachtung von Häufigkeiten sinnvoll. So wäre die Fragestellung nicht wie bisher, was der maximal erreichte Singularitätswert ist, sondern wie oft eine bestimmte Gruppe einen Singularitätswert höher als .6 beispielsweise zeigte. Ein einzeln gemessener Wert kann in einem Moment der Unaufmerksamkeit, was nicht selten ist, da die Aufgabe eine hohe Konzentration erfordert, tatsächlich sehr hoch sein und damit kein ausreichendes Indiz für den Lernerfolg liefern.

4.3 Fazit und Ausblick

Die oben aufgeführten Probleme, die bei der Untersuchung auftauchten, machen deutlich, dass das Programming by Demonstration - Paradigma zwar eine nutzerfreundliche Mensch-Maschine-Interaktion darstellt, wie Billard et al. (2008) bereits ausführten, aber da es um die Bedienung eines technologisch sehr komplexen Gerätes, wie es ein Roboter ist, geht, dennoch nicht ganz ohne Vorkenntnisse des Anwenders auskommt.

Nun ist es ja die Zielstellung des SKILLS - Projektes, herauszufinden, welche Fähigkeiten dieser Anwender besitzen muss und wie das Erlernen eben dieser beschleunigt werden kann. Diese Frage kann durch die durchgeführte Experimente nicht eindeutig beantwortet werden, da in diesem Experiment die visuellen Hilfen keine performanzsteigernde Wirkung besaßen. Dennoch bleibt die Vermutung offen, dass mit den oben aufgeführten Änderungen des Versuchsaufbaus durchaus ein Lerneffekt zu Gunsten der visuellen Unterstützung auftreten könnte.

Weiterhin soll an dieser Stelle darauf aufmerksam gemacht werden, dass neben visuellem Feedback auch andere Feedbackformen genutzt werden könnten. So entwickelten Schätzle et al. (2010) ein vibrotaktiler Feedbacksystem, welches über mehrere Segmente verfügt und somit auch eine Rückmeldung von einzelnen Gelenken des Leichtbauroboters geben könnte.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beispielitem aus dem MRT-R (Universität Kaiserslautern, 2005).....	9
Abbildung 2:	Bildschirmdarstellung des Sensomotorischen Koordinationstests aus dem Wiener Testsystem (Bauer et al., 2008).....	10
Abbildung 3:	Fachrichtungen der Studenten, die an der Untersuchung teilnahmen in absoluten Zahlen.....	12
Abbildung 4:	Verteilung der Antworten auf die Frage „Wie vertraut ist Ihnen der Umgang mit Robotern?“.....	13
Abbildung 5:	Verteilung der Antworten auf die Frage „Wie vertraut sind Ihnen Roboter-Singularitäten?“.....	13
Abbildung 6:	Versuchsaufbau im ersten Experiment.....	14
Abbildung 7:	Performance Indicator als eine Form des visuellen Feedbacks.....	15
Abbildung 8:	Versuchsaufbau im zweiten Experiment.....	26
Abbildung 9:	Darstellung der vier Singularitäten des Leichtbauroboters, die die Probanden während des Explorations- trainings durchliefen.....	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Mittelwerte und Standardabweichungen der vier Variablen Bearbeitungszeit, Gesamtstrecke, Integral über den Weg und den Singularitätsindex und maximaler Singularitätsindex für alle drei Gruppen in Lego-Spiel 1	20
Tabelle 2:	Mittelwerte und Standardabweichungen der vier Variablen Bearbeitungszeit, Gesamtstrecke, Integral über den Weg und den Singularitätsindex und maximaler Singularitätsindex für alle drei Gruppen in Lego-Spiel 2	21
Tabelle 3:	Mittelwerte und Standardabweichungen der vier Variablen Bearbeitungszeit, Gesamtstrecke, Integral über den Weg und den Singularitätsindex und maximaler Singularitätsindex für beide Gruppen in Lego-Spiel 3	30

Literaturverzeichnis

- Baddeley, A. D. & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Hrsg.), *Recent advances in learning and motivation*, Vol. 8, 47-90, New York: Academic Press.
- Bauer, H., Guttman, G., Leodolter, M. & Leodolter, U. (2008). SMK Sensomotorische Koordination. In Wiener Testsystem, Psychologische Diagnostik (S. 83). Schuhfried GmbH.
- Billard, A., Calinon, S., Dillmann, R. & Schaal, S. (2008). *Robot Programming by Demonstration*. In B. Siciliano & O. Khatib (Hrsg.), *Handbook of Robotics* (S. 1371-1394). Springer.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.
- Cypher, A. (1993). *Watch What I Do: Programming by Demonstration*. MIT Press.
- Gan, T. S. Y. & Drummond, T. W. (2006). Vision-Based Augmented Reality Visual Guidance with Keyframes. *Computer Graphics International*, 692-701.
- Hennig, A. (1997). *Die andere Wirklichkeit. Virtual Reality - Konzepte, Standards, Lösungen*. Addison-Wesley.
- Hirzinger, G., Sporer, N., Albu-Schäffer, A., Hähle, M., Krenn, R., Pascucci, A. & Schedl, M. (2002). DLR's torque-controlled light weight robot III - Are we reaching the technological limits now?. In IEEE International Conference on Robotics and Automation (S. 1710-1716). Washington D.C.
- Peters, M., Laeng, B., Lathan, K., Jackson, M., Zaiouna, R. & Richardson, C. (1995). A redrawn Vandenberg and Kuse Mental Rotations Test: Different versions and factors that affect performance. *Brain and Cognition*, 28, 39 - 58.

- Schätzle, S., Ende, T., Wuesthoff, T. & Preusche, C. (2010). *VibroTac: An ergonomic and versatile usable vibrotactile feedback device*. 19th IEEE International Symposium in Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man 2010), Sep. 12 - 15th, 2010, Viareggio, Italy.
- Schmirgel, V., Zimmermann, U. E., Hulin, T. & Preusche, C. (2007). *Position Paper: Human Skills for Programming-by-Demonstration of Robots*. Beyond Movement Conference, Pisa, Italy.
- Schmirgel, V., Zimmermann, U. E., Yechiam, E., Hulin, T. & Preusche, C. (2009). *Comprehension of Operating a Robot by Enactive Learning: Exemplary Approaches with Programming-by-Demonstration*. SKILLS09 International Conference on Multimodal Interfaces for Skills Transfer, Bilbao, Spain.
- SKILLS Konsortium (2006). *Overview*. Zugriff am 15.06.2010, von <http://www.skills-ip.eu/>
- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. *The Psychology of Learning and Motivation*, 43, 215-266.
- Universität Kaiserslautern (2005). *Geschlecht und Architektur*. Zugriff am 11.08.2010, von http://www.uni-kl.de/AG-Leopold/lehre/architektur_geometrie/geschlecht/raumvorstellung
- Weber, W. (2002). *Industrieroboter. Methoden der Steuerung und Regelung*. Fachbuchverlag Leipzig.
- Yuviler-Gavish, N., Yechiam, E. & Kallai, A. (2009). *Multimodal training: The use of visual instructions in spatial tasks is a natural trap*. Manuscript submitted for publication.

Anhang A - Einverständniserklärung Probanden

- 40 -

Name, Vorname: _____

Probandencode:

--	--	--	--	--	--

erste 2 Buch-
staben des
Vornamens

erste 2 Buch-
staben des
Nachnamens

Geburts-
monat

„Evaluierung eines VR-Systems zum Erlernen von Roboter-Singularitäten“

1. Ich wurde für mich ausreichend mündlich und schriftlich über die wissenschaftliche Untersuchung informiert. Ich erkläre, dass ich freiwillig und unentgeltlich an der Evaluierung teilnehme. Ich kann jederzeit und ohne dass mir hieraus Nachteile entstehen von dem Experiment zurücktreten.
2. Ich bin verpflichtet, mit dem Labor und den dazugehörigen Geräten sorgfältig umzugehen und den Anweisungen des Versuchsleiters Folge zu leisten.
3. Die Versuchsleiter versichern, dass die erhobenen Daten anonymisiert und vertraulich in elektronischer Form gespeichert werden¹, sodass für externe Personen nicht zu erkennen ist, welche Testperson welche Daten geliefert hat. Die Daten werden im Rahmen wissenschaftlicher Forschungsvorhaben ausgewertet. **Ich bin damit einverstanden, dass die im Rahmen der wissenschaftlichen Untersuchung über mich erhobenen Daten sowie meine sonstigen mit dieser Untersuchung zusammenhängenden personenbezogenen Daten aufgezeichnet und ausgewertet werden.**
4. Ich bin darüber informiert worden, dass ich jederzeit eine Löschung all meiner Daten verlangen kann.
5. Es werden weiterhin Videodaten aufgezeichnet, die ebenfalls ohne Namensbezug gespeichert und ausgewertet werden. Es kann sinnvoll sein, Auszüge dieser Videos zu wissenschaftlichen Anlässen zu zeigen. Es ist bei diesen Aufnahmen nicht auszuschließen, dass Sie darauf erkannt werden können.
 - ☐ Ich bin mit dem Zeigen dieser Videos zu wissenschaftlichen Zwecken einverstanden.
 - ☐ Ich bin mit dem Zeigen dieser Videos zu wissenschaftlichen Zwecken nicht einverstanden.
6. Bei weiteren Fragen wenden Sie sich bitte an Gloria Pöhler (Gloria.Poehler@dlr.de) oder Thomas Hulin (Thomas.Hulin@dlr.de).

Ich habe diese Erklärung gelesen und verstanden.

DLR Standort OP, den _____
(Datum)

(Unterschrift Proband)

(Unterschrift Versuchsleiter)

¹ Primärdaten einer Veröffentlichung sollten gemäß der Deutschen Forschungsgemeinschaft mindestens 10 Jahre gespeichert und zugänglich sein.

Anhang B - Einverständniserklärung Testleiter

Name, Vorname: _____

„Evaluierung eines VR-Systems zum Erlernen von Roboter-Singularitäten“

1. Ich wurde für mich ausreichend mündlich und schriftlich über die wissenschaftliche Untersuchung informiert. Ich erkläre, dass ich freiwillig und unentgeltlich an der Evaluierung teilnehme. Ich kann jederzeit und ohne dass mir hieraus Nachteile entstehen von dem Experiment zurücktreten.
2. Ich bin verpflichtet, mit dem Labor und den dazugehörigen Geräten sorgfältig umzugehen und den Anweisungen des Versuchsleiters Folge zu leisten.
3. Die Versuchsleiter versichern, dass die erhobenen Daten anonymisiert und vertraulich in elektronischer Form gespeichert werden¹, sodass für externe Personen nicht zu erkennen ist, welche Testperson welche Daten geliefert hat. Die Daten werden im Rahmen wissenschaftlicher Forschungsvorhaben ausgewertet. **Ich bin damit einverstanden, dass die im Rahmen der wissenschaftlichen Untersuchung über mich erhobenen Daten sowie meine sonstigen mit dieser Untersuchung zusammenhängenden personenbezogenen Daten aufgezeichnet und ausgewertet werden.**
4. Ich bin darüber informiert worden, dass ich jederzeit eine Löschung all meiner Daten verlangen kann.
5. Es werden weiterhin Videodaten aufgezeichnet, die ebenfalls ohne Namensbezug gespeichert und ausgewertet werden. Es kann sinnvoll sein, Auszüge dieser Videos zu wissenschaftlichen Anlässen zu zeigen. Es ist bei diesen Aufnahmen nicht auszuschließen, dass Sie darauf erkannt werden können.
 - ☐ Ich bin mit dem Zeigen dieser Videos zu wissenschaftlichen Zwecken einverstanden.
 - ☐ Ich bin mit dem Zeigen dieser Videos zu wissenschaftlichen Zwecken nicht einverstanden.
6. Bei weiteren Fragen wenden Sie sich bitte an Gloria Pöhler (Gloria.Poehler@dlr.de) oder Thomas Hulin (Thomas.Hulin@dlr.de).

Ich habe diese Erklärung gelesen und verstanden.

DLR Standort OP, den _____
(Datum)

(Unterschrift Proband)

(Unterschrift Testleiter)

¹ Primärdaten einer Veröffentlichung sollten gemäß der Deutschen Forschungsgemeinschaft mindestens 10 Jahre gespeichert und zugänglich sein.



Probandencode:

		-			-		
--	--	---	--	--	---	--	--

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

vielen Dank für Ihre Teilnahme an einem Experiment zum **Erlernen von Roboter-Singularitäten**. Wir möchten Sie an dieser Stelle bitten, den nachfolgenden Fragebogen auszufüllen.

Bei weiteren **Fragen** wenden Sie sich bitte an den Untersucher.

1. Geschlecht:

☐ männlich

☐ weiblich

2. Alter:

_____ Jahre

3. Händigkeit:

☐ linkshändig

☐ rechtshändig

4. Beruf (*Einfachnennung*):

☐ technisch/Ingenieurwesen

☐ kaufmännisch/Verwaltung

☐ Marketing/Verkauf

☐ Medizin/Soziales/Gesundheitswesen

☐ Bildung

☐ Finanzen/Consulting/Versicherung

☐ Student; *Fachrichtung*: _____

5. Wie vertraut ist Ihnen der Umgang mit Robotern?

- 43 -

sehr vertraut 1	2	3	4	5	sehr fremd 6
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. Wie vertraut sind Ihnen Roboter-Singularitäten?

sehr vertraut 1	2	3	4	5	sehr fremd 6
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt und andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keinem anderen Prüfungsamt vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Magdeburg, den 07.09.2010

Gloria Pöhler